

500,402

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESEN (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
10. Juli 2003 (10.07.2003)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 03/056685 A2

(51) Internationale Patentklassifikation⁷: **H02K 1/02**

(74) Anwalt: **KLUNKER, SCHMITT-NILSON, HIRSCH**,
Winzererstrasse 106, 80797 München (DE).

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP02/14779

(22) Internationales Anmeldedatum:
27. Dezember 2002 (27.12.2002)

(81) Bestimmungsstaat (*national*): US.

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(84) Bestimmungsstaaten (*regional*): europäisches Patent (AT,
BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR,
IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, SI, SK, TR).

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
101 64 290.3 28. Dezember 2001 (28.12.2001) DE

Veröffentlicht:

— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu
veröffentlichen nach Erhalt des Berichts

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme
von US): **MAGNET-MOTOR GESELLSCHAFT FÜR
MAGNETMOTORISCHE TECHNIK MBH** [DE/DE];
Petersbrunner Strasse 2, 82319 Starnberg (DE).

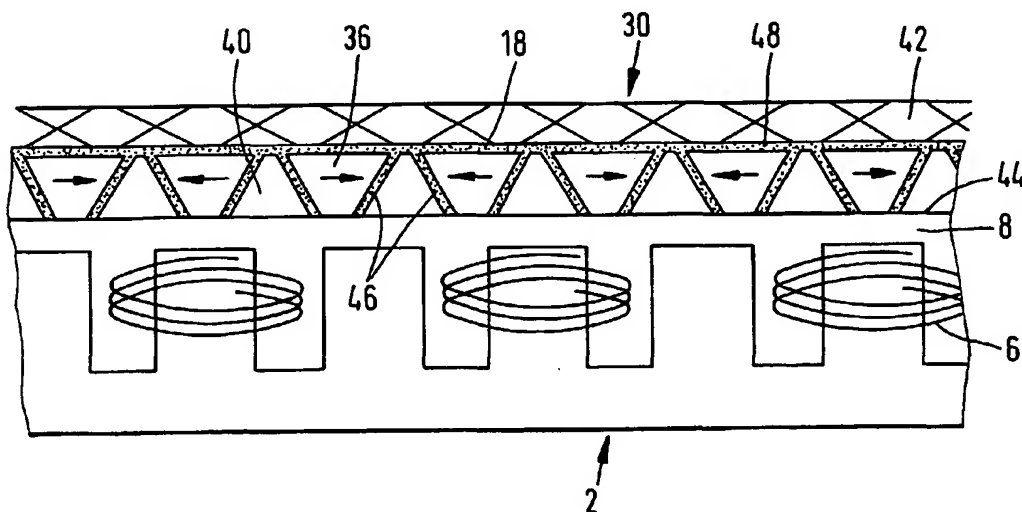
Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen
Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on
Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe
der PCT-Gazette verwiesen.

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **EHRHART, Peter**
[DE/DE]; Saalburgerstrasse 24a, 81375 München (DE).

(54) Title: PERMANENT-MAGNETICALLY EXCITED ELECTRICAL MOTOR

(54) Bezeichnung: DAUERMAGNETISCH ERREGTE, ELEKTRISCHE MASCHINE



(57) Abstract: Disclosed is a permanent-magnetically excited electrical motor comprising a stator part (2), a rotor part (30) movable in relation to the stator part (2), and an air gap (8) between the stator part (2) and the rotor part (30). Either the stator part (2) or the rotor part (30) is provided with a flow path assembly for magnetic flow and coils (6), and the other of the two parts (2, 30) is provided with a flow path assembly for magnetic flow and permanent magnets (36). The inventive electrical motor comprises a flow conducting fluid (18) conductible for magnetic flow and at least one filling space (12; 16; 20; 38; 46; 48; 50) in the area of the flow path assembly of the stator part (2) and/or the rotor part (30), which can optionally be supplied with more or less flow conducting fluid (18) so as to modify the magnetic flow conductivity of the flow path assembly.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



(57) Zusammenfassung: Dauermagnetisch erregte, elektrische Maschine, mit einem Statorteil (2) und einem Läuferteil (30), das relativ zu dem Statorteil (2) bewegbar ist, und mit einem Luftspalt (8) zwischen dem Statorteil (2) und dem Läuferteil (30), wobei eines der Teile Statorteil (2) und Läuferteil (30) eine Flusspfadanordnung für magnetischen Fluss und Wicklungsspulen (6) aufweist und das andere der Teile Statorteil (2) und Läuferteil (30) eine Flusspfadanordnung für magnetischen Fluss und Dauermagnete (36) aufweist, dadurch gekennzeichnet, dass eine Flussleitfähigkeit (18) vorgesehen ist, die für magnetischen Fluss leitfähig ist; und dass im Bereich der Flusspfadanordnung des Statorteils (2) und/oder des Läuferteils (30) mindestens ein Füllraum (12; 16; 20; 38; 46; 48; 50) vorgesehen ist, der zur Veränderung der magnetischen Flussleitfähigkeit der Flusspfadanordnung wahlweise mit mehr oder weniger Flussleitfähigkeit (18) versorgt werden kann.

Rec'd PCT/PTO 28 JUN 2004

Dauermagnetisch erregte, elektrische Maschine

5

Die Erfindung bezieht sich auf eine dauermagnetisch erregte, elektrische Maschine, mit einem Statorteil und einem Läufer teil, das relativ zu dem Statorteil bewegbar ist, und mit einem Luftspalt zwischen dem Statorteil und dem Läufer teil, wobei eines der Teile Statorteil und Läufer teil eine Flusspfadanordnung für magnetischen Fluss und Wicklungsspulen aufweist und das andere der Teile Statorteil und Läufer teil eine Flusspfadanordnung für magnetischen Fluss und Dauermagnete aufweist.

15 Die erfindungsgemäße elektrische Maschine kann ein Elektromotor oder ein Generator zur Stromerzeugung oder auch eine Kombination aus beiden sein, die wahlweise als Motor oder als Generator arbeitet. Im Folgenden wird vorwiegend auf Elektromotoren Bezug genommen, aber alle Ausführungen gelten analog für Generatoren.

20

Die erfindungsgemäße elektrische Maschine kann eine rotatorische oder eine lineare Maschine sein. Im Folgenden wird vorwiegend auf rotatorische Maschinen Bezug genommen ("Rotorteil" statt "Läufer teil"), aber alle Ausführungen gelten analog auch für lineare Maschinen.

25

Die erfindungsgemäße elektrische Maschine ist vorzugsweise elektronisch kommutiert, d.h. sie weist elektronische Bausteine auf, mit denen sich den Wicklungsspulen für eine jeweilige geeignete Zeitphase Strom zuführen lässt (Elektromotor) oder mit denen sich aus den Wicklungsspulen zu jeweiligen geeigneten Zeitphasen Strom ableiten lässt. Im Folgenden wird überwiegend auf

30

elektronisch kommunizierte Maschinen Bezug genommen, aber viele der Ausführungen gelten analog auch für Maschinen, die nicht elektronisch kommutiert sind.

35 Bei der erfindungsgemäßen elektrischen Maschine gibt es die zwei folgenden grundsätzlichen Möglichkeiten der Auslegung: Entweder ist der Statorteil mit den Wicklungsspulen versehen und der Läufer teil mit den Dauermagneten versehen; diese Auslegung hat den Vorteil, dass man dem Läufer teil keinen Strom für die Wicklungsspulen zuführen bzw. aus den Wicklungsspulen abführen
40 muss. Umgekehrt kann man aber auch den Statorteil mit den Dauermagneten versehen und den Läufer teil mit den Wicklungsspulen versehen.

Bei dauermagnetisch erregten, rotatorischen Elektromotoren wird den Wicklungsspulen jeweils für "richtige" Zeitphasen und jeweils mit "richtigem" Vorzeichen elektrischer Strom zugeführt. Sobald sich jedoch der Rotor dreht, induzieren die (z.B. auf dem Rotor positionierten) Dauermagnete in den (z.B. auf dem Stator positionierten) Wicklungsspulen eine Spannung; diese induzierte Spannung wird normalerweise kurz EMK genannt. Im Prinzip steigt die EMK mit der Drehzahl des Rotors linear an. Dies liegt daran, dass die Amplitude und der
45 stellungsabhängige Verlauf des dauermagnetischen Flusses, der die Wicklungsspulen durchsetzt, konstant ist, aber dessen zeitliche Änderungsgeschwindigkeit mit der Drehzahl verändert wird. Eine wesentliche Verbesserung des aus Maschine und zugeordneter Leistungselektronik bestehenden Gesamtsystems würde sich jedoch dadurch ergeben, könnte man die induzierte Spannung bei gegebener Drehzahl beeinflussen, insbesondere in Richtung auf hohe
50 Drehzahlen den Anstieg reduzieren und im Idealfall eine konstante Spannung über den gesamten Drehzahlbereich realisieren.

Es hat bisher schon Ansätze gegeben, die Höhe der in den Wicklungsspulen induzierten Spannung zu beeinflussen. Man kennt Eingriffe mit mechanischen
60

Mitteln, z.B. Unterteilung des Stators in zwei relativ zueinander verdrehbare Statorteile, wobei deren zugeordnete Spulen seriell geschaltet sind; Unterteilung des Rotors in zwei relativ zueinander verdrehbare Rotorteile; axiale Verschiebung des Rotors relativ zu dem Stator. Und man kennt elektrische Eingriffe, z.B. Serienschaltung zweier zugeordneter Statorspulen mittels elektrischem Phasenschieber; aktive Verschiebung des Phasenwinkels zwischen Strom und induzierter Spannung durch Veränderung des Kommutierungszeitpunkts in der zugeordneten Leistungselektronik (Ausnutzung des induktiven Spannungsabfalls); Veränderung der Serien-/Parallelverschaltung von Wicklungsspulen.

70

Die meisten der bekannten Maßnahmen sind sehr aufwendig und führen nur unter Inkaufnahme von Nachteilen an anderer Stelle zu Teilergebnissen.

75

Zur Lösung des genannten technischen Problems ist die dauermagnetisch erregte, elektrische Maschine erfindungsgemäß dadurch gekennzeichnet, dass eine Flussleitflüssigkeit vorgesehen ist, die für magnetischen Fluss leitfähig ist; und dass im Bereich der Flusspfadanordnung des Statorteils und/oder des Läuferteils mindestens ein Füllraum vorgesehen ist, der zur Veränderung der magnetischen Flussleitfähigkeit der Flusspfadanordnung wahlweise mit mehr oder weniger Flussleitflüssigkeit versorgt werden kann.

80

Die Flussleitflüssigkeit ist im einfachsten Fall eine Flüssigkeit, die mit magnetisch leitfähigen Teilchen, z.B. Eisenpulvermaterial beladen ist, wobei chemische Zusätze vorhanden sind, um die leitfähigen Teilchen in Schwebelage zu halten, so dass eine auf Dauer stabile Flussleitflüssigkeit vorliegt. Flussleitflüssigkeiten sind an sich bekannt und sind am Markt erhältlich, z.B. von der Firma Ferrofluidics GmbH, Nürtingen, Deutschland.

85

Wenn die Menge der Flussleitflüssigkeit in dem Füllraum verringert wird, wird dort die magnetische Flussleitfähigkeit verringert. Als Folge wird die Amplitude

90

des magnetischen Flusses durch die Wicklungsspulen verringert, wodurch die dort induzierte Spannung abnimmt. In den meisten praktischen Fällen wird man also bei hoher Drehzahl der Maschine die Menge der Flussleitflüssigkeit in dem Füllraum verringern und bei niedriger Drehzahl erhöhen.

95

Vorzugsweise weist die Versorgung des Füllraums mit mehr oder weniger Flussleitflüssigkeit das Arbeiten mit einer, insbesondere geringeren, Anzahl diskreter Füllungszustände des Füllraums auf, vorzugsweise mindestens des Füllungszustands "voll" und des Füllungszustands "leer". In der Praxis ist sogar
100 das Arbeiten nur mit den beiden Füllungszuständen "voll" und "leer" häufig besonders bevorzugt. Bei dieser Ausführungsform lassen sich die Einrichtungen zur Änderung des Füllungszustands technisch besonders einfach ausbilden. Man hat zwar im mittleren Drehzahlbereich nicht die optimale Anpassung, aber wenigstens im besonders wichtigen Bereich hoher Drehzahlen eine ausle-
105 gungsgemäß volle Absenkung der induzierten EMK.

Alternativ bevorzugt ist es, wenn die Versorgung des Füllraums mit mehr oder weniger Flussleitflüssigkeit das Nutzen eines kontinuierlichen Bereichs von Füllungszuständen des Füllraums aufweist, vorzugsweise einschließlich des
110 End-Füllungszustands "voll" und des End-Füllungszustands "leer". Diese Ausführung ermöglicht ein feinfühliges Anpassen der magnetischen Flussleitflüssigkeit der Flusspfadanordnung an die Drehzahl der Maschine, allerdings um den Preis eines größeren Aufwands für die technische Realisierung. Der Begriff "kontinuierlich" soll nicht bedeuten, dass jeder beliebige Füllungszustand auch
115 tatsächlich benutzt wird. Es soll lediglich zum Ausdruck gebracht werden, dass mit einer relativ großen Anzahl von relativ nahe beieinander liegenden Füllungszuständen gearbeitet wird.

Vorzugsweise sind bei der mit Wicklungsspulen versehenen Flusspfadanordnung Unterbrechungen der Flusspfadanordnung als Füllräume vorgesehen. Bei
120

leeren Füllräumen hat man maximale Verringerung der magnetischen Flussleitfähigkeit der Flusspfadanordnung.

125 Vorzugsweise sind bei der mit Wicklungsspulen versehenen Flusspfadanordnung örtliche Ausnehmungen des magnetischen Flussquerschnitts als Füllräume vorgesehen. Diese Ausführung ist häufig technisch einfacher zu realisieren als die im vorhergehenden Absatz beschriebene. Bei geeigneter Größe der Ausnehmungen (d.h. Tiefe oder Breite, gemessen quer zur dortigen Längsrichtung des Flusspfads, oder Breite, gemessen in der dortigen Längsrichtung des
130 Flusspfads) lassen sich unschwer die gewünschten Verringerungen der magnetischen Flussleitfähigkeit der Flusspfadanordnung erreichen.

Vorzugsweise sind bei der mit Wicklungsspulen versehenen Flusspfadanordnung eine unterdimensionierte Feststoff-Flusspfadanordnung und mindestens
135 ein Füllraum zum großflächigen Hochdimensionieren der Flusspfadanordnung vorgesehen. Als konkrete Ausführung sei beispielhaft die Möglichkeit genannt, einen Magnetflussquerschnitt aus Eisen durch einen angrenzend parallel dazu verlaufenden Füllraum im Gesamt-Magnetflussquerschnitt wesentlich zu erhöhen (wenn mit Flussleitflüssigkeit gefüllt) oder nicht (wenn nicht mit Flussleitflüssigkeit gefüllt). Das Wort "großflächig" soll zum Ausdruck bringen, dass
140 nicht nur an einzelnen Stellen (wie bei den zuvor angesprochenen Unterbrechungen oder Ausnehmungen) die magnetische Flussleitflüssigkeit lokal geändert werden kann, sondern dass sich diese Änderung entweder über die gesamte Flusspfadanordnung oder zumindest über einen erheblichen Teilabschnitt
145 der Flusspfadanordnung erstreckt.

Anstatt an der mit Wicklungsspulen versehenen Flusspfadanordnung, oder zusätzlich zu dieser, kann die erfindungsgemäße Änderbarkeit der magnetischen Flussleitflüssigkeit an der mit Dauermagneten versehenen Flusspfadanordnung
150 (dies ist vorzugsweise am Läuferteil bzw. am Rotorteil) vorgenommen sein:

Vorzugsweise sind bei der mit Dauermagneten versehenen Flusspfadanordnung Unterbrechungen der Flusspfadanordnung als Füllräume vorgesehen. Im Fall von in Umfangsrichtung magnetisierten Dauermagneten und Flussleitelementen jeweils zwischen zwei benachbarten Dauermagneten kann dies vorzugsweise dazu führen, dass Abstandsräume zwischen Dauermagneten und Flussleitelementen als Füllräume vorgesehen sind.

Vorzugsweise sind bei der mit Dauermagneten versehenen Flusspfadanordnung örtliche Ausnehmungen des magnetischen Flussquerschnitts als Füllräume vorgesehen.

Vorzugsweise ist bei der mit Dauermagneten versehenen Flusspfadanordnung eine unterdimensionierte Feststoff-Flusspfadanordnung und mindestens ein Füllraum zum großflächigen Hochdimensionieren der Flusspfadanordnung vorgesehen.

Die Ausführungen, die weiter vorn zu bevorzugten Ausführungen an der mit Wicklungsspulen versehenen Flusspfadanordnung gemacht worden sind, gelten analog hier auch für die mit Dauermagneten versehenen Flusspfadanordnungen.

Im Fall von in Umfangsrichtung magnetisierten Dauermagneten und Flussleitelementen jeweils zwischen zwei benachbarten Dauermagneten gibt es ferner eine bevorzugte Ausführung, bei der an der luftspaltabgewandten Seite der Dauermagnete und der Flussleitelemente mindestens ein Füllraum zur wahlweisen Schaffung von magnetischem Nebenschluss vorgesehen ist. Der magnetische Nebenschluss bewirkt einen anderen Arbeitspunkt der Dauermagnete mit anderer Aufteilung der Magnetflüsse, was sich als niedrigere Luftspaltfeldstärke auswirkt. Im Ergebnis ergibt sich auch hier eine Erniedrigung der in den

Wicklungsspulen induzierten Spannung, allerdings in diesem Fall bei einer Vermehrung der Flussleitflüssigkeit in dem Füllraum.

185 Eine technisch besonders unkomplizierte Ausführung ergibt sich häufig, wenn
– wie bevorzugt – der Füllraum an einen Kreislauf der Flussleitflüssigkeit angeschlossen ist. Bei dieser Ausführung lässt sich die in dem Füllraum vorhandene Luft bei Vermehrung der Flussleitflüssigkeit in dem Füllraum leicht aus diesem herausdrücken. Beim Verringern des Füllungszustands des Füllraums kann man für die Möglichkeit des Nachströmens von Luft in den Füllraum sorgen.
190

Wenn der Läufer teil mindestens einen Füllraum aufweist, ist es bevorzugt, dass an dem Läufer teil eine Pumpe zum Fördern der Flussleitflüssigkeit angeordnet ist oder in ihm integriert ist. Alternativ kann man die Pumpe zum Fördern der Flussleitflüssigkeit separat von dem Läufer teil anordnen und über mindestens
195 eine Durchführung, die Relativbewegung erlaubt, mit dem Füllraum verbinden. Die erstgenannte Möglichkeit ist in der Regel mechanisch einfacher, erhöht aber das Gewicht und das Volumen des Läufer teils. In aller Regel gehört zu dem Flussleitflüssigkeitssystem ein Reservoir, aus dem bei Vergrößerung der Menge
200 der Flüssigkeit in dem Füllraum Flüssigkeit entnommen wird und in das bei Verringerung der Flüssigkeitsmenge in dem Füllraum Flüssigkeit zurückbefördert wird.

Es ist bevorzugt, die Erhöhung oder Verringerung der Menge der Flussleitflüssigkeit in dem Füllraum automatisiert vorzunehmen, z.B. nach Art eines Regelkreises in Abhängigkeit von der Drehzahl der Maschine. Dabei wird es in aller Regel nicht besonders praktisch sein, auf jede kleine Drehzahländerung sofort mit einer Änderung der Flüssigkeitsmenge in dem Füllraum zu reagieren. In aller Regel reicht es zu reagieren, wenn sich die Drehzahl um einen erheblichen
205 Wert und/oder beständig für längere Zeit geändert hat.
210

Im Fall einer Maschine mit Außenrotor, bei der die Flussleitflüssigkeit zur Schaffung eines magnetischen Nebenschlusses dient, kann die mit höherer Drehzahl einhergehende automatische Befüllung des Füllraums mit Flussleit-
215 flüssigkeit infolge der Fliehkraft ausgenutzt werden.

Vorzugsweise sind der Füllraum und die Flussleitflüssigkeit zugleich Bestandteil eines Kühlsystems der Maschine. Das Kühlsystem der Maschine kann im We-
220 sentlichen ausschließlich mit der Flussleitflüssigkeit arbeiten, aber auch Kombinationen mit einem anderen, flüssigen oder gasförmigen Kühlmedium sind möglich. Die Erfindung schafft jedoch die Möglichkeit, eine sowieso für die erfindungsgemäße Funktion vorhandene Flüssigkeit, nämlich die Flussleitflüssigkeit, zugleich auch für Kühlaufgaben einzusetzen. In diesem Fall wird man vorzugsweise ein Ausmaß der Umwälzung der Flussleitflüssigkeit vorsehen, das
225 über das für die Änderung der magnetischen Flussleitfähigkeit der Flusspfadanordnung erforderliche Ausmaß hinausgeht. Wenn die Flussleitflüssigkeit zugleich auch Kühlungsfunktion erfüllt, muss sie in der Regel rückgekühlt werden, z.B. mittels Wärmetauscher und eines sekundären Kühlflüssigkeitskreislaufs oder mittels eines Wärmetauschers an Luft.

230

Die erfindungsgemäße Maschine kann, wenn man den Fall der rotatorischen Maschine betrachtet, entweder mit einem Innenrotor oder mit einem Außenrotor ausgeführt sein. Diese beiden Ausführungen sind Maschinen mit einem zylindrischen Luftspalt. Alternativ sind rotatorische Maschinen mit ebenem
235 Luftspalt möglich, bei der sich Statorteil und Rotorteil mit axialem Abstand gegenüberstehen.

Die erfindungsgemäße elektrische Maschine kann nach dem Prinzip der Flusskonzentration aufgebaut sein, bei der im Luftspalt eine höhere magnetische
240 Feldstärke herrscht als an der Austrittsfläche der Dauermagneten. Für detail-

liertere Ausführungen zum Flusskonzentrationsprinzip wird auf EP 0 331 180 A hingewiesen. Dort und weiter unten in der vorliegenden Anmeldung sind auch konkrete Ausführungsbeispiele für elektrische Maschinen nach dem Flusskonzentrationsprinzip beschrieben.

Die Erfindung und Ausgestaltungen der Erfindung werden nachfolgend anhand von schematisiert zeichnerisch dargestellten Ausführungsbeispielen noch näher erläutert. Es zeigt:

250

Fig. 1 einen in die Ebene abgewickelten Querschnitt eines Teilbereichs eines Statorteils einer elektrischen Maschine;

Fig. 2 einen in die Ebene abgewickelten Querschnitt eines Teilbereichs eines Stators einer elektrischen Maschine, in anderer Ausführungsform;

255

Fig. 3 einen in die Ebene abgewickelten Teilbereich eines Querschnitts einer elektrischen Maschine, in anderer Ausführungsform, wobei ein Statorteil und ein Rotorteil zu sehen sind;

Fig. 4 einen in die Ebene abgewickelten Teilbereich eines Querschnitts einer elektrischen Maschine, in anderer Ausführungsform, wobei sowohl ein Statorteil als auch ein Rotorteil zu sehen sind;

260

Fig. 5 einen in die Ebene abgewickelten Teilbereich eines Querschnitts einer elektrischen Maschine, in anderer Ausführung, wobei ein Statorteil und ein Rotorteil zu sehen sind;

Fig. 6 stark schematisiert, einen Längsschnitt eines Teils einer elektrischen Maschine.

265

Bei den in den Figuren 1 bis 5 dargestellten elektrischen Maschinen handelt es sich um rotatorische Maschinen, bei denen der Statorteil die Wicklungsspulen aufweist und der Rotorteil die Dauermagnete aufweist. Deshalb wird von Rotorteil statt allgemeiner von Läuferteil gesprochen. Analoge Linearmaschinen kann man sich sofort vorstellen, wenn man die Figuren 1 bis 5 nicht als Abwicklung, sondern als Längsschnitt eines Teilbereichs der Linearmaschine ansieht. Wie aus Ausführungen weiter unten noch deutlicher werden wird, handelt es sich bei den Ausführungsbeispielen gemäß Figuren 1 bis 5 durchweg um Maschinen mit zylindrischem Luftspalt. Wenn man sich eine andere Abwick-

275

lungsrichtung vorstellt, kann man die Zeichnungsfiguren auch als Maschinen

mit ebenem Luftspalt auffassen. Die Darstellungen der Figuren 1 bis 5 sind unabhängig davon, ob man einen Elektromotor oder einen Stromgenerator vor sich hat. In der folgenden Beschreibung wird der Begriff Maschine verwendet, aber es wird hier darauf hingewiesen, dass die jeweilige dargestellte Ausführungsform wahlweise ein Motor oder ein Generator sein kann.

Der in Fig. 1 gezeichnete Teilbereich eines Statorteils 2 hat drei Statorpole 4, jeweils versehen mit einer Wicklungsspule 6. Mit unterbrochener Linie ist angedeutet, wo man sich einen Luftspalt 8 der Maschine vorzustellen hat. Wenn man sich den Statorteil 2 um eine Achse 10 ringförmig gekrümmt vorstellt, (die, wie mit dem Pfeil angedeutet, in Wirklichkeit sich wesentlich weiter unten auf der Zeichnungsseite befindet), nimmt der Luftspalt 8 eine zylindrische Konfiguration an; die für die zeichnerische Darstellung vorgenommene Abwicklung in die Ebene wäre gleichsam rückgängig gemacht. Wenn man sich hingegen die Achse 10 um 90° gekippt in die Zeichnungsebene, von oben nach unten verlaufend, und dann nach vorn oder nach hinten parallel aus der Zeichnungsebene heraus verschoben vorstellt, dann erzeugt man bei zylindrischer Krümmung um diese Achse herum einen Stator, bei dem die freien Enden der Statorpole 4 einen in einer Ebene liegenden Ring bilden und der Luftspalt 8 ein ebener Luftspalt ist.

Man sieht, dass die Statorpole 4 an ihrer luftspaltentfernten Seite nicht ineinander übergehen (was einen konventionellen dortigen Magnetrückschluss ergäbe), sondern dass jeweils zwischen zwei benachbarten Statorpolen 4 dort eine Unterbrechung 12 vorhanden ist. Das, was in der bisherigen Beschreibung als Flusspfadanordnung (des Statorteils) bezeichnet worden ist, ist bei dem Ausführungsbeispiel der Fig. 1 die Aneinanderreihung von U-förmigen Eisenpfaden, wobei jeweils beim waagerechten Schenkel des U eine Unterbrechung 12 vorhanden ist.

Man sieht, dass bei jeder Unterbrechung 12 das dem Luftspalt 8 zugewandte bzw. der Wicklungsnut zwischen zwei benachbarten Statorpolen 4 zugewandte Ende durch eine Abdichtungswand 14 flüssigkeitsdicht abgeschlossen ist. Das
310 Gleiche gilt für das hinter der Zeichnungsebene liegende Ende und für das vor der Zeichnungsebene liegende Ende der Unterbrechung 12.

Alle Unterbrechungen 12 sind durch einen Flüssigkeitskanal 16 verbunden, der längs der Reihe der Statorpole 4 auf deren luftspaltabgewandten Seite verläuft.
315 Es wird darauf hingewiesen, dass der Flüssigkeitskanal 16, gemessen rechtwinklig zur Zeichnungsebene, im Wesentlichen so breit wie die Statorpole 4 sein kann. In diesem Fall stellt er selbst einen "Füllraum" oder einen "Bestandteil des Gesamt-Füllraums" im Sinne der Erfindung dar. Alternativ kann der Flüssigkeitskanal 16, gemessen rechtwinklig zur Zeichnungsebene, eine relativ ge-
320 ringe Breite haben; in diesem Fall hat er im Wesentlichen nur die Funktion, Flüssigkeit wahlweise zu den Unterbrechungen 12 zu fördern oder von den Unterbrechungen 12 abzuziehen. Eine weitere, sogar besonders bevorzugte Alternative besteht darin, sowohl an der vor der Zeichnungsebene liegenden Stirnseite der Statorpole 4 als auch an der hinter der Zeichnungsebene liegenden, anderen Stirnseite der Statorpole 4 jeweils einen Flüssigkeitskanal 16 vor-
325 zusehen. Bei dieser Ausführung kann man durch einen der Kanäle 16 Flüssigkeit den Unterbrechungen 12 zuführen und durch den anderen der beiden Kanäle 16 Flüssigkeit von den Unterbrechungen 12 abziehen. Die Einbindung in einen Flüssigkeitskreislauf, die Abführung von Luft aus den Unterbrechungen 12, das
330 Nachspeisen von Luft in die Unterbrechungen 12, und anderes mehr gestalten sich besonders einfach.

Die in den Unterbrechungen 12 und in dem Kanal 16 durch Punktierung gezeichnete Flüssigkeit ist eine magnetisch leitende Flussleitflüssigkeit. Im Fol-
335 genden wird aus Verkürzungszwecken durchweg von "Flüssigkeit" statt von "Flussleitflüssigkeit" gesprochen.

Wenn, wie gezeichnet, die Unterbrechungen vollständig mit Flüssigkeit 18 gefüllt sind, hat man einen Zustand nicht sehr unterschiedlich davon, dass sich in den flüssigkeitsgefüllten Bereichen Statoreisen befindet (im Detail abhängig von der Leitfähigkeit der Flüssigkeit für Magnetfluss). Wenn man hingegen die Flüssigkeit 18 vollständig aus den Unterbrechungen 12 und dem Kanal 16 abzieht, hat man einen Zustand mit jeweils zwischen zwei benachbarten Statorpolen 4 unterbrochenem Flusspfad und damit eine sehr erhebliche Verringerung der in den Wicklungsspulen 6 durch die Dauermagnete auf dem bewegten Rotorteil induzierten EMK. Zwischenwerte durch teilweise gefüllte Unterbrechungen 12 sind möglich. Jede Unterbrechung 12 stellt einen "Füllraum" (oder in anderer Betrachtungsweise, einen Teil eines Gesamt-Füllraums) im Sinne der Erfindung dar.

350

Die zweite Ausführungsform gemäß Fig. 2 unterscheidet sich von der ersten Ausführungsform gemäß Fig. 1 lediglich dadurch, dass statt der Unterbrechungen 12 Ausnehmungen 20 an der luftspaltabgewandten Seite der Flusspfadanordnung vorhanden sind. Die einzelnen Statorpole 4 hängen über das die Ausnehmungen 20 überbrückende Statoreisen körperlich zusammen. Eine Abdichtung wie bei den Unterbrechungen 12 durch die Wand 14 ist nicht erforderlich. Wenn man die Ausnehmungen 20 gleichsam zum Ausgleich breiter (gemessen von links nach rechts in Fig. 2 und damit gemessen in Längsrichtung des Flusspfads) macht als die Unterbrechungen 12, lässt sich eine entsprechende Verringerung der magnetischen Flussleitfähigkeit der Flusspfadanordnung erreichen.

360

Bei der dritten Ausführungsform gemäß Fig. 3 ist die Variierbarkeit der magnetischen Flussleitfähigkeit bei der Flusspfadanordnung eines Rotorteils 30 vor-
gesehen. Der Statorteil 2 ist im Grundsatz ähnlich wie bei der ersten und bei der zweiten Ausführungsform ausgebildet, allerdings mit Wicklungsspulen 6 nur auf

365

jedem zweiten Statorpol 4 und ohne Polkopfverbreiterung und ohne Füllraum bzw. Füllräume für Flussleitflüssigkeit am Statorteil 2.

370 Der Rotorteil 30 ist im Wesentlichen becherförmig (insoweit am besten veranschaulicht durch Fig. 6), wobei der in Fig. 3 sichtbare, abgewickelt-zylindrische Teilbereich im Wesentlichen aus einer Eisenhülse 32, einer außen mit Abstand herumgelegten Außenwand 34, einem zylindrischen Füllraum 38 zwischen der Eisenhülse 32 und der Wand 34, und innen an der Eisenhülse 32 angebrachten
375 Dauermagneten 36 besteht. Beim Fortschreiten in der Reihe der Dauermagneten 36 wechselt deren Polung ab. Abwechselnd weist ein Nordpol zum Luftspalt 8 und ein Südpol zum Luftspalt 8. In Umfangsrichtung benachbarte Dauermagnete 36 sind magnetisch durch einen Magnetrückschluss verbunden, welcher durch die Eisenhülse geliefert wird. Die Eisenhülse 32, versehen mit den Dau-
380 ermagneten 36, bildet eine Flusspfadanordnung des Rotorteils 30. Im Extremfall kann die Eisenhülse in Radialrichtung sehr dünn sein, sogar fehlen.

Wenn der Füllraum 38 zwischen der Eisenhülse 32 und der Wand 34 mit Flussleitflüssigkeit 18 gefüllt ist, ist die magnetische Flussleitfähigkeit der beschriebenen Flusspfadanordnung größer als wenn der Füllraum 38 keine Flüssigkeit
385 18 enthält, weil zusammen mit der Flüssigkeit 18 effektiv der Magnetflussquerschnitt der Flusspfadanordnung vergrößert ist. Guten Sinn macht die dritte Ausführungsform, wenn die Eisenhülse 32 eine unterdimensionierte Flusspfadanordnung darstellt, die bei niedrigen Drehzahlen durch die Flüssigkeit 18
390 hochdimensioniert wird.

Es wird darauf hingewiesen, dass eine Ausführung wie die dritte Ausführungsform auch am Statorteil verwirklichtbar ist. Man möge sich in Fig. 2 die Ausnehmungen 20 mit Eisen geschlossen vorstellen, aber das Statoreisen an der
395 luftspaltabgewandten Seite in Radialrichtung insgesamt so dünn gemacht, dass eine Unterdimensionierung der Flusspfadanordnung vorliegt.

Andererseits kann man die erste Ausführungsform und die zweite Ausführungsform auch beim Rotorteil 30 verwirklichen. Zu diesem Zweck möge man sich in Fig. 3 entweder Unterbrechungen in der Eisenhülse 32 oder Ausnehmungen radial außen an der Eisenhülse 32, jeweils zwischen zwei benachbarten Dauermagneten 36, vorstellen.

Die vierte Ausführungsform gemäß Fig. 4 unterscheidet sich von der dritten Ausführungsform einerseits darin, dass statt der Eisenhülse 32 und der radial magnetisierten Dauermagnete 36 eine – wenn man sich von links nach rechts in Fig. 4 bzw. in Umfangsrichtung der Maschine bewegt – wechselnde Abfolge von in Umfangsrichtung magnetisierten Dauermagneten 36 und Flussleitelementen 40 vorgesehen ist. Umfangsmäßig benachbarte Dauermagnete 36 sind gegensinnig magnetisiert. Die Dauermagnete 36 sind im Querschnitt der Fig. 4 trapezförmig mit der kurzen Grundseite dem Luftspalt 8 zugewandt; die Flussleitelemente 40 sind im Schnitt der Fig. 4 trapezförmig mit der längeren Grundseite dem Luftspalt 8 zugewandt. Radial außerhalb der Anordnung von Dauermagneten 36 und Flussleitelementen 40 befindet sich eine Außenwand 42, welche die Dauermagnete 36 und die Flussleitelemente 40 trägt. Radial innen befindet sich eine Abdichtungswand 44.

Jeweils zwischen einem Dauermagneten 36 und seinen zwei in Umfangsrichtung benachbarten Flussleitelementen 40 befindet sich ein Abstandsspalt 46. Radial außen von der Anordnung der Dauermagnete 36 und der Flussleitelemente 40 ist bis zu der Außenwand 42 ein radial möglichst dünner Abstandsspalt 48 vorhanden, der lediglich zum Transport der Flüssigkeit 18 dient. Bevorzugt ist aber eine Ausführung ohne diesen Abstandsspalt 48, insbesondere mit Zufuhr und Abfuhr der Flüssigkeit 18 in axialer Richtung. Die Abstandsspalte 46 bilden zusammen einen Füllraum für Flussleitflüssigkeit 18. Wenn der Füllraum leer von Flüssigkeit 18 ist, bilden die Abstandsspalte 46 lokale Unterbre-

chungen der Flusspfadanordnung des Rotorteils 30. Wenn die Abstandsspalte 46 mit Flüssigkeit 18 gefüllt sind, hat man eine Flusspfadanordnung mit hoher magnetischer Flussleitfähigkeit.

430

Die fünfte Ausführungsform gemäß Fig. 5 unterscheidet sich von der vierten Ausführungsform dadurch, dass jeweils zwischen einem Dauermagneten 36 und seinen zwei benachbarten Flussleitelementen 40 kein Abstandsspalt 46 vorhanden ist. Der fakultative Abstandsspalt 48 ist zu einem Füllraum 50 großer radialer Dicke erweitert.

435

Durch diese Änderung hat sich die Funktion der Maschine verändert. Da keine Abstandsspalte 46 vorhanden sind, ist die Flusspfadanordnung des Rotorteils 30 auch ohne Flüssigkeit nicht unterdimensioniert. Wenn der Füllraum 50 mit Flüssigkeit 18 gefüllt ist, hat man über die Flüssigkeit 18 magnetische Nebenschlüsse zwischen benachbarten Flussleitelementen 40. Dadurch verschiebt sich der Arbeitspunkt der Dauermagnete 36 mit anderer Aufteilung der Flüsse, was sich als niedrigere Luftspaltfeldstärke auswirkt. Im Ergebnis ergibt sich eine Erniedrigung der in den Wicklungsspulen 6 induzierten Spannung. Die geschilderten Nebenschlüsse sind mit den gepfeilten Linien 52 angedeutet. Die gepfeilten Linien 54 geben die "regulären" Magnetkreise über den Luftspalt 8 zum Statorteil 2 und zurück wieder.

445

Durch Fig. 6 ist veranschaulicht, wie man sich ein kompletteres Flussleitflüssigkeit-System z.B. bei einer Füllraumkonfiguration wie in Fig. 3 oder in Fig. 5 vorstellen kann. Der Füllraum 38 bzw. 50 ist über einen Kanal 62 an ein Flüssigkeitsreservoir 64 (mit teilweise Gasvolumen in dem Reservoir 64) angeschlossen. Wenn mehr Flüssigkeit 18 im Füllraum 38 bzw. 50 gewünscht wird, wird diese aus dem Reservoir 64 über den Kanal 62 dorthin geführt, und umgekehrt bei Wunsch nach geringerem Füllungszustand im Füllraum. Infolge der Fliehkraft breitet sich die Flüssigkeit 18 im Füllraum als radial äußere Schicht

450

455

aus. Wenn abgefordert, kann der Füllraum 38 bzw. 50 vollständig mit Flüssigkeit 18 angefüllt werden.

460 In der Praxis ist es gut, zusätzlich an der in Fig. 6 rechten, axialen Stirnseite des Füllraums 38 bzw. 50 einen weiteren Flüssigkeitskanal anzuschließen und ein Kreislaufsystem für die Flüssigkeit 18 auszubilden, vorzugsweise mit einer Pumpe. Dann kann man z.B. von der in Fig. 6 linken Stirnseite her Flüssigkeit
465 einpumpen oder auch Luft, nach Umschalten der Pumpe auf andere Ansaugöffnung. Einpumpen von Flüssigkeit 18 vergrößert den Füllungszustand des Füllraums, Einpumpen von Luft verkleinert ihn. Der Abfluss von Flüssigkeit oder Luft erfolgt auf der in Fig. 6 rechten Stirnseite des Rotorteils 30.

Fig. 6 ist auch ein Beispiel dafür, dass man das Flussleitflüssigkeitssystem, selbst einschließlic Pumpen, am Rotorteil 30 unterbringen kann. Wenn das
470 Flussleitflüssigkeitssystem zugleich Bestandteil des Kühlsystems der Maschine sein soll, wird sinnvollerweise für Rückkühlung der Flüssigkeit 18 gesorgt, z.B. durch einen Flüssigkeit/Luft-Wärmetauscher 66 an der Außenseite des Rotorteils 30.

475 Wenn man das Reservoir 64 und die nicht eingezeichnete Pumpe separat von dem Rotorteil 30 und stationär anordnen möchte, dann muss man den Kanal 62 z.B. mittels einer Drehdurchführung durch die Rotationsachse 60 nach außen hin mit der Pumpe und dem Reservoir 64 verbinden.

480 Anhand von Fig. 6 kann man sich auch leicht vorstellen, wie man ein komplettes Flussleitflüssigkeitssystem für den Statorteil 2 ausbilden kann. In diesem Fall werden Reservoir 64, Pumpe, Kanal 62 und ggf. Wärmetauscher 66 einfach stationär am Statorteil 2 vorgesehen.

485

Obwohl bei allen Ausführungsbeispielen die Füllräume entweder am Statorteil 2 oder am Rotorteil 30 vorgesehen waren, wird betont, dass es möglich ist, die Füllräume sowohl am Statorteil 2 als auch am Rotorteil 30 vorzusehen.

490 In aller Regel werden die wichtigsten Betriebszustände "Füllraum bzw. Füllräume voll" und "Füllraum bzw. Füllräume leer" sein. Man kann aber auch mit diskreten Zwischen-Füllungszuständen oder einer quasi-kontinuierlichen Variation der Füllungszustände arbeiten. Teilvolle Füllungszustände sind bei rotatorischen Maschinen in der Praxis am ehesten darstellbar, wenn man den Statorteil 2 oder den Rotorteil 30 umfangsmäßig in mehrere Sektoren aufteilt und je-
495 den Sektor mit einem eigenen Zuführungskanal und ggf. Abführungskanal versieht. Insbesondere bei der vierten Ausführungsform stellt sich aufgrund der Rotationsbewegung des Rotorteils 30 selbsttätig ein über den Umfang ausgeglichener Teilfüllungszustand ein.

500

Wenn die Maschine ein Generator ist, geht es erfindungsgemäß nicht um die Senkung der induzierten EMK bei hoher Drehzahl, sondern um die Möglichkeit, die Drehzahlabhängigkeit der Höhe der erzeugten Spannung zu reduzieren.

PATENTANSPRÜCHE

510

1. Dauermagnetisch erregte, elektrische Maschine, mit einem Statorteil (2) und einem Läufer teil (30), das relativ zu dem Statorteil (2) bewegbar ist, und mit einem Luftspalt (8) zwischen dem Statorteil (2) und dem Läufer teil (30), wobei eines der Teile Statorteil (2) und Läufer teil (30) eine Flusspfadanordnung für magnetischen Fluss und Wicklungsspulen (6) aufweist und das andere der Teile Statorteil (2) und Läufer teil (30) eine Flusspfadanordnung für magnetischen Fluss und Dauermagnete (36) aufweist, dadurch gekennzeichnet, dass eine Flussleitflüssigkeit (18) vorgesehen ist, die für magnetischen Fluss leitfähig ist; und dass im Bereich der Flusspfadanordnung des Statorteils (2) und/oder des Läufer teil (30) mindestens ein Füllraum (12; 16; 20; 38; 46; 48; 50) vorgesehen ist, der zur Veränderung der magnetischen Flussleitfähigkeit der Flusspfadanordnung wahlweise mit mehr oder weniger Flussleitflüssigkeit (18) versorgt werden kann.

520

525

2. Maschine nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Versorgung des Füllraums mit mehr oder weniger Flussleitflüssigkeit (18) das Arbeiten mit einer Anzahl diskreter Füllungszustände des Füllraums aufweist, vorzugsweise mindestens des Füllungszustands "voll" und des Füllungszustands "leer".

530

3. Maschine nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Versorgung des Füllraums mit mehr oder weniger Flussleitflüssigkeit (18) das Nutzen eines kontinuierlichen Bereichs

535 von Füllungszuständen des Füllraums aufweist, vorzugsweise einschließlich
des End-Füllungszustands "voll" und des End-Füllungszustands "leer".

4. Maschine nach einem der Ansprüche 1 bis 3,
dadurch gekennzeichnet, dass bei der mit Wicklungsspulen (6) versehenen
Flusspfadanordnung Unterbrechungen (12) der Flusspfadanordnung als
540 Füllräume vorgesehen sind.

5. Maschine nach einem der Ansprüche 1 bis 4,
dadurch gekennzeichnet, dass bei der mit Wicklungsspulen (6) versehenen
Flusspfadanordnung örtliche Ausnehmungen (20) des magnetischen
545 Flussquerschnitts als Füllräume vorgesehen sind.

6. Maschine nach einem der Ansprüche 1 bis 5,
dadurch gekennzeichnet, dass bei der mit Wicklungsspulen (6) versehenen
Flusspfadanordnung eine unterdimensionierte Feststoff-Flusspfadanord-
550 nung und mindestens ein Füllraum zum großflächigen Hochdimensionieren
der Flusspfadanordnung vorgesehen ist.

7. Maschine nach einem der Ansprüche 1 bis 6,
dadurch gekennzeichnet, dass bei der mit Dauermagneten (36) versehenen
555 Flusspfadanordnung Unterbrechungen der Flusspfadanordnung als Füll-
räume vorgesehen sind.

8. Maschine nach Anspruch 7,
dadurch gekennzeichnet, dass in Umfangsrichtung magnetisierte Dauer-
560 magnete (36) und Flussleitelemente (40) jeweils zwischen zwei benachbar-
ten Dauermagneten (36) vorgesehen sind; und dass Abstandsräume (46)
zwischen Dauermagneten (36) und Flussleitelementen (40) als Füllräume
vorgesehen sind.

- 565 9. Maschine nach einem der Ansprüche 1 bis 8,
dadurch gekennzeichnet, dass bei der mit Dauermagneten (36) versehenen
Flusspfadanordnung örtliche Ausnehmungen des magnetischen Fluss-
querschnitts als Füllräume vorgesehen sind.
- 570 10. Maschine nach einem der Ansprüche 1 bis 9,
dadurch gekennzeichnet, dass bei der mit Dauermagneten (36) versehenen
Flusspfadanordnung eine unterdimensionierte Feststoff-Flusspfadanord-
nung (32) und mindestens ein Füllraum (38) zum großflächigen Hochdi-
575 mensionieren der Flusspfadanordnung vorgesehen ist.
11. Maschine nach einem der Ansprüche 1 bis 6
dadurch gekennzeichnet, dass in Umfangsrichtung magnetisierte Dauer-
magnete (36) und Flussleitelemente (40) jeweils zwischen zwei benachbar-
580 ten Dauermagneten (36) vorgesehen sind; und dass an der luftspaltabge-
wandten Seite der Dauermagnete (36) und der Flussleitelemente (40) min-
destens ein Füllraum (50) zur wahlweisen Schaffung von magnetischem
Nebenschluss vorgesehen ist.
- 585 12. Maschine nach einem der Ansprüche 1 bis 11,
dadurch gekennzeichnet, dass der Füllraum an einem Kreislauf der Fluss-
leitflüssigkeit (18) angeschlossen ist.
13. Maschine nach einem der Ansprüche 1 bis 12,
590 dadurch gekennzeichnet, dass der Läufer teil (30) mindestens einen Füll-
raum aufweist; und dass an dem Läufer teil (30) eine Pumpe zum Fördern
der Flussleitflüssigkeit (18) angeordnet ist.

14. Maschine nach einem der Ansprüche 1 bis 12,
595 dadurch gekennzeichnet, dass der Läuferteil (30) mindestens einen Füll-
raum aufweist; und dass eine Pumpe zum Fördern der Flussleitflüssig-
keit (18) separat von dem Läuferteil angeordnet und über mindestens eine
Durchführung, die Relativbewegung erlaubt, mit dem Füllraum verbunden
ist.
- 600
15. Maschine nach einem der Ansprüche 1 bis 14,
dadurch gekennzeichnet, dass der Füllraum und die Flussleitflüssigkeit (18)
zugleich Bestandteil eines Kühlsystems der Maschine sind.

FIG. 1

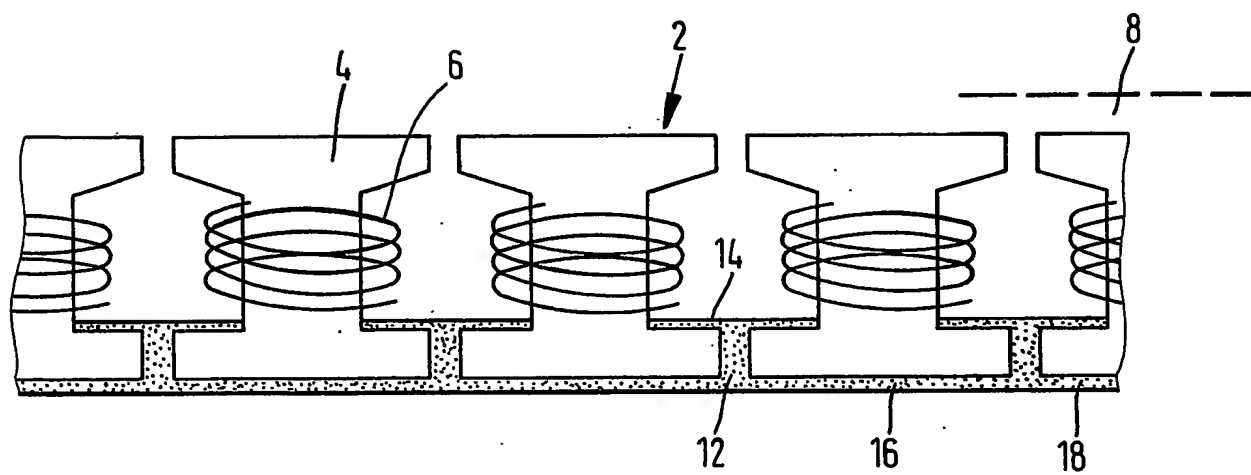


FIG. 2

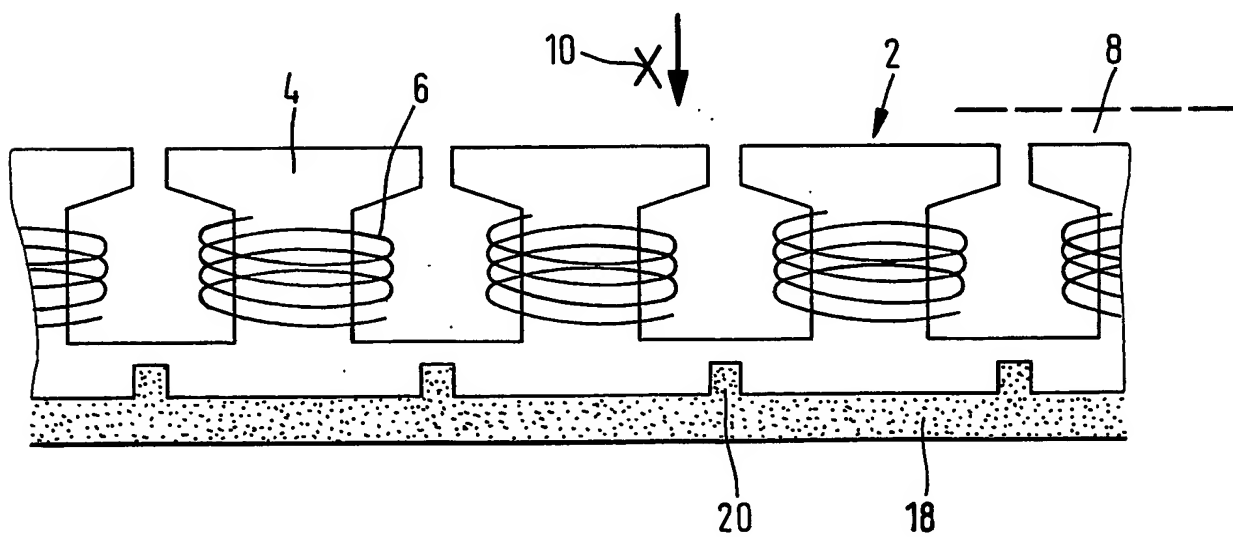


FIG. 3

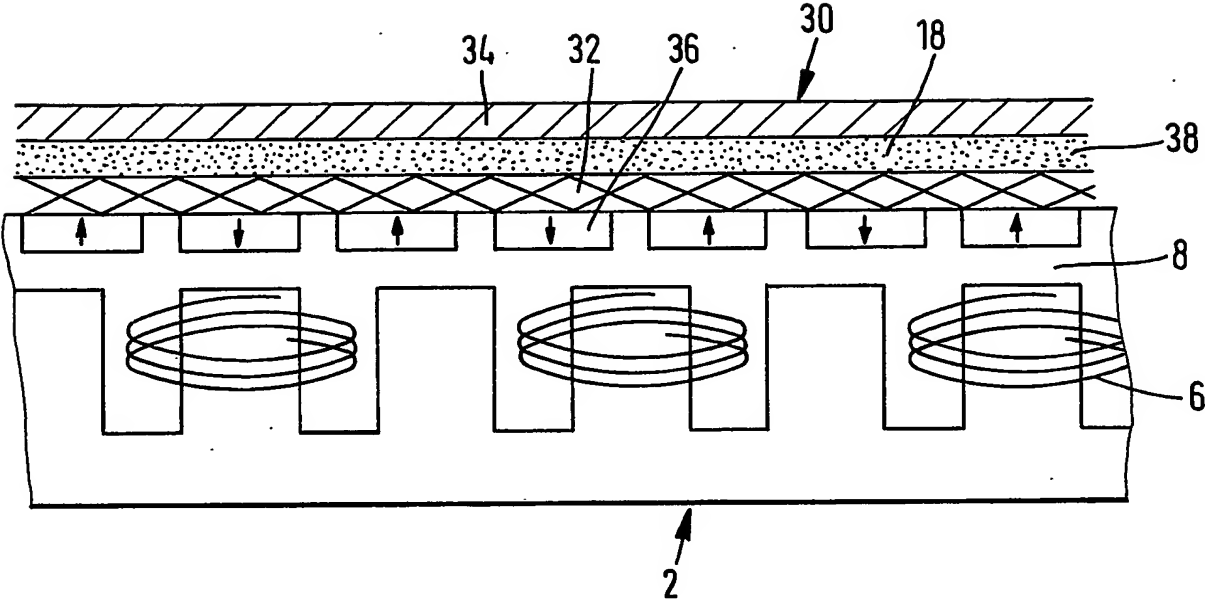


FIG. 4

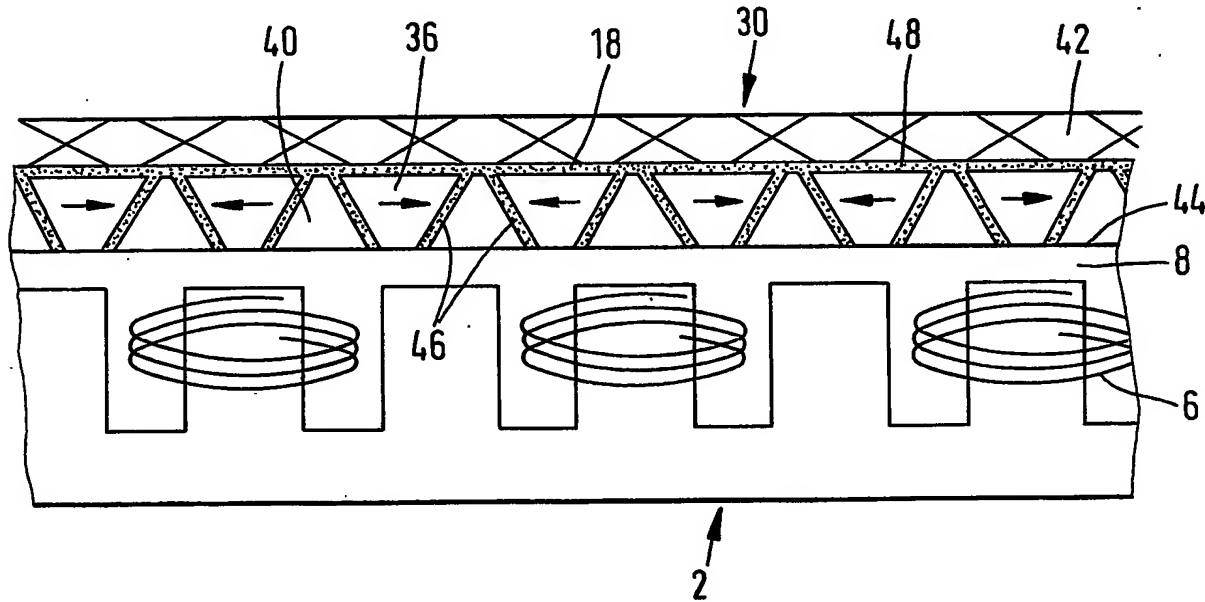


FIG. 5

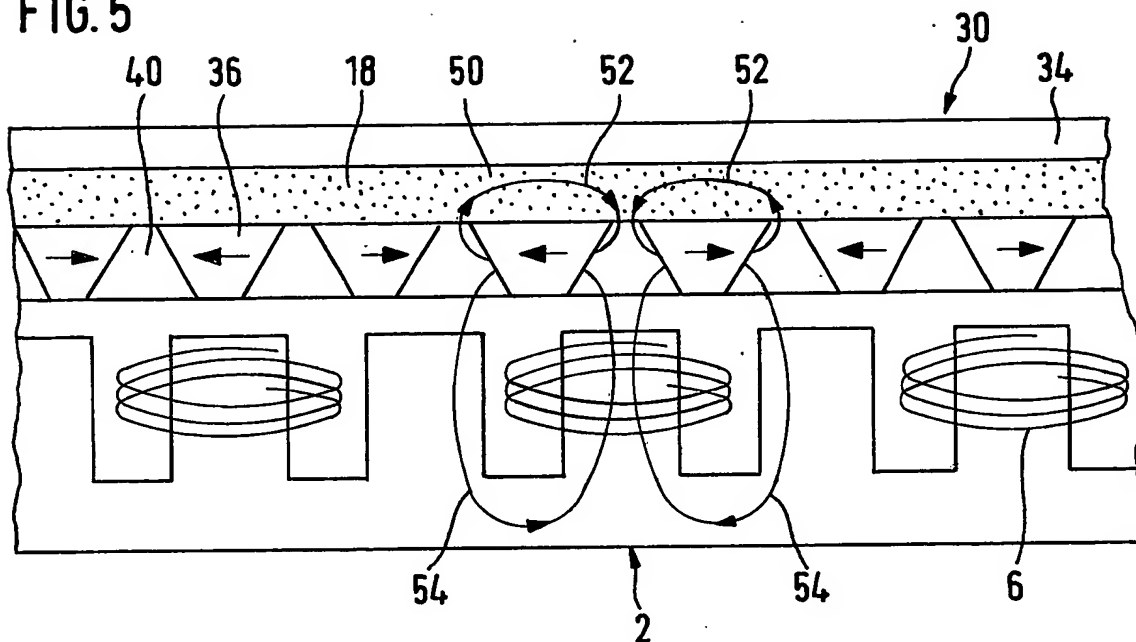


FIG. 6

